

学校编码: 10384

分类号\_\_密级\_\_

学号: 31520131153297

UDC\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

行人检测算法及其在 Android 平台上的实现

**Pedestrian Detection Based on Android Platform**

指导教师姓名: 李绍滋 教授

专 业 名 称: 计算机技术

论文提交日期: 2016 年 4 月

论文答辩时间: 2016 年 5 月

学位授予日期: 2016 年 月

答辩委员会主席: \_\_

评阅人: \_\_

2016 年 月

## 厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为( )课题(组)的研究成果,获得( )课题(组)经费或实验室的资助,在( )实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（        ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，  
于        年        月        日解密，解密后适用上述授权。

（        ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年        月        日

## 摘 要

移动互联网的发展已然进入了快车道,这和 Android 系统息息相关。近年基于 Android 平台的智能设备取得了长足的进步,为智能家居、智慧城市等领域的发展提供了很多成熟新颖的解决方案。行人检测 (Pedestrian Detection)<sup>[1]</sup> 是计算机视觉领域非常重要的研究课题,对智能监控、机器人导航、车辆辅助驾驶和无人驾驶等领域有着十分重要的意义。谷歌无人驾驶成功实验后,国内掀起了无人驾驶研究的热潮,百度、乐视、通用汽车等大型企业相继加入了竞争的行列。车载行人检测算法无疑是其重要的研究方向。

行人检测研究涵盖诸多难点问题:行人本身存在形态姿态的多样性,行人内部和其他障碍物的遮挡造成的行人信息不完整,监测环境复杂多样以及应用场景具有独特性等等都给行人检测带来了阻碍。针对以上问题,科研人员从行人检测的特征表示<sup>[2]</sup>,模板设计<sup>[3]</sup>、激光扫描<sup>[4]</sup>和分类模型<sup>[5]</sup>等诸多方向进行了深入研究。本文以 Viola 等<sup>[5]</sup> 提出的 Boosted Cascade 框架为基础,集合核相关滤波<sup>[40]</sup>提出了一种新的行人检测算法,基于 Android 移动设备设计出一个实时的行人检测系统。本文的主要贡献如下:

1. 文章从 Android 设备的行人检测在一般场景当中的应用问题入手,针对传统行人检测算法特征复杂度高,分类实时性差等问题,比较当前主流行人算法,设计出一种集成学习配合核相关滤波的算法,得到一个实时性好、准确率高、复杂度低的行人检测模型;
2. 文章深入研究 Android 平台的车载设备,了解 Android 应用开发框架,重点分析图像数据流的获取和处理模块,为 Android 平台算法移植做准备;
3. 深入研究 Window 到 Android 的图像跨平台开发,比较多种方法的效率和难度,确立 Android 平台行人检测算法移植方案;构建一个归一化处理的 Android 平台行人检测数据库; C++语言实现行人检测框架,训练出一个行人检测模型,在 Android 平台上实现实时的行人检测系统。

**关键词:** 行人检测, Android, 计算机视觉, 辅助驾驶

## Abstract

The development of Mobile Internet is closely related to the launch and development of Android system. In recent years, the intelligent hardware device based on Android platform has made great progress. It provides a lot of mature and creative solutions for the development of like Smart Home, Smart City and another Intelligence fields. Pedestrian Detection<sup>[1]</sup> algorithm is an important research topic in computer vision, and it has very important practical significance and commercial value in Intelligent Surveillance, Robot Navigation, Driver Assistance, Unmanned Driving and other fields. In particular, after the success of the Google unmanned experiments, there is a big stirring of interest in unmanned driving in China. Research on Vehicle-Mounted pedestrian detection algorithm is undoubtedly an important research direction.

Pedestrian detection research covers many difficult problems: pedestrian has the diversity of appearance and poses itself, and we always get incomplete pedestrians information caused by obstacles and the other pedestrians, Monitoring Environment is also complex. Besides, different application scenarios always get different characteristics and so on. Due to previous problems, researchers have made great efforts on Pedestrian detection from several aspect like Feature descriptor method<sup>[2]</sup>, Template design method<sup>[3]</sup>, Laser scanning method<sup>[4]</sup> and Classification Model method<sup>[5]</sup> etc. Based on the Cascade Boosted target detection framework proposed by Viola et al<sup>[5]</sup>, this paper designs a pedestrian detection algorithm with Kernelized Correlation Filters based on the Android mobile device. The main research contents of this paper are as follows:

1. For the problems of the high complexity traditional pedestrian detection algorithm, poor classification real-time performance, compare the advantages and disadvantages of the existing pedestrian

detection models and descriptors, this paper designs a pedestrian detection algorithm with KCF based on the Cascade Boosted algorithm framework .Train a pedestrian detection model with good real-time performance, low accuracy and low complexity;

2. After comparing the different mobile operating system, choose the one sharing the highest of the market: Android system as the operating system of the vehicle equipment. Lucubrate the structure of Android system, focusing on the image and video processing, and preparing the application development on the Android platform;
3. Deeply analysis the Window and Android cross platform development, comparing the efficiency and difficulty of different methods, selecting an appropriate one, lucubrate a real-time pedestrian detection model on the Android platform; By the same time building a normalized pedestrian detection data for Android platform, so that can be conveniently expanded to mobile devices and the application in different scenarios.

**Key words:** Pedestrian Detection; Android; Computer Vision; Assisted Driving

摘 要.....	IV
Abstract.....	V
目 录.....	VII
Content.....	IX
<b>第一章 绪论</b> .....	- 1 -
1.1 研究背景和意义 .....	- 1 -
1.2 研究现状及存在的问题 .....	- 4 -
1.3 主要研究工作 .....	- 9 -
1.4 本文结构安排 .....	- 10 -
<b>第二章 行人检测相关研究</b> .....	- 11 -
2.1 常用行人检测算法分析 .....	- 12 -
2.1.1 基于深度学习的行人检测 .....	- 12 -
2.1.2 基于特征表示的行人检测 .....	- 14 -
2.1.3 基于深度信息的行人检测 .....	- 15 -
2.1.4 基于模板匹配的行人检测 .....	- 16 -
2.2 常用行人检测数据集介绍 .....	- 17 -
2.3 本章小结 .....	- 21 -
<b>第三章 基于集成学习与核相关滤波的行人检测</b> .....	- 23 -
3.1 HOG 特征 .....	- 24 -
3.2 积分通道特征 .....	- 26 -
3.3 基于 Adaboost 的分类器构建 .....	- 30 -
3.3.1 决策树 .....	- 31 -
3.3.2 Adaboost 算法 .....	- 35 -
3.3.3 Boosted Decision Forest 多通道行人检测.....	- 35 -
3.4 基于核相关滤波的行人检测 .....	- 37 -
3.4.1 频域空间搜索算法 .....	- 37 -
3.4.2 Kernel Regularized Least Squares 算法.....	- 39 -
3.5 实验与分析 .....	- 41 -
3.5.1 模型训练过程 .....	- 41 -
3.5.2 不同场景的检测方法 .....	- 43 -
3.5.3 实验分析比较 .....	- 46 -
3.6 本章小结 .....	- 48 -
<b>第四章 Android 平台行人检测系统设计与实现</b> .....	- 49 -

4.1 Android 系统基础 .....	- 49 -
4.1.1 Android 平台的系统结构要点 .....	- 50 -
4.1.2 Android 开发核心组件 .....	- 51 -
4.1.3 Android 平台开发工具 .....	- 55 -
4.2 Android 平台的行人算法开发要点 .....	- 56 -
4.3 基于 Android 的行人检测系统实现 .....	- 59 -
4.3.1 行人算法移植的桥梁——JNI .....	- 59 -
4.3.2 行人算法开发工具——NDK .....	- 61 -
4.3.3 行人检测代码优化 .....	- 62 -
4.4 实验与分析 .....	- 64 -
4.5 本章小结 .....	- 68 -
第五章 总结展望 .....	- 69 -
感 谢 .....	- 71 -
参考文献 .....	- 73 -



## Content

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract in English .....</b>	<b>V</b>
<b>Content in Chinese .....</b>	<b>VII</b>
<b>Content in English .....</b>	<b>IX</b>
<b>Chapter1 Introduction .....</b>	<b>- 1 -</b>
1.1 Background and significance .....	- 1 -
1.2 Research status and existing problems .....	- 4 -
1.3 The main research work .....	- 9 -
1.4 The main Content and chapters arrangements .....	- 10 -
<b>Chapter2 Pedestrian detection related research .....</b>	<b>- 11 -</b>
2.1 Analysis of pedestrian detection algorithm .....	- 12 -
2.1.1 Pedestrian detection algorithm based on DNN .....	- 12 -
2.1.2 Pedestrian detection algorithm based on Features .....	- 14 -
2.1.3 Pedestrian detection algorithm based on Depth data .....	- 15 -
2.1.4 Pedestrian detection algorithm based on shape .....	- 16 -
2.2 The introduction of Pedetrian Dataset .....	- 17 -
2.3 Summary .....	- 21 -
<b>Chapter3 Pedestrian detection algorithm based on Adaboost and KCF.....</b>	<b>- 23 -</b>
3.1 HOG Feature .....	- 24 -
3.2 ICF Feature.....	- 26 -
3.3 Pedestrian detection algorithm based on Adaboost.....	- 30 -
3.3.1 Decision tree .....	- 31 -
3.3.2 Adaboost algorithm .....	- 35 -
3.3.3 Detection basedon Boosted Decision Forest and ICF .....	- 35 -
3.4 Pedestrian detection algorithm based on KCF .....	- 37 -
3.4.1 Frequency domain space search algorithm .....	- 37 -
3.4.2 Kernel Regularized Least Squares algorithm .....	- 39 -
3.5 Experiment and Anlysis .....	- 41 -
3.5.1 The training process .....	- 41 -
3.5.2 Detection in different scenes .....	- 43 -
3.5.3 Experiment and Anlysis .....	- 46 -
3.6 Summary .....	- 48 -

<b>Chapter4 Pedestrian detection algorithm based on Android .....</b>	<b>- 49 -</b>
<b>4.1 Android basics .....</b>	<b>- 49 -</b>
4.1.1 Android system basic .....	- 50 -
4.1.2 Android Core component .....	- 51 -
4.1.3 Android development tools .....	- 55 -
<b>4.2 Android Pedestrian detection algorithm rules.....</b>	<b>- 56 -</b>
<b>4.3 Implementation of pedestrian detection on Android.....</b>	<b>- 59 -</b>
4.3.1 The development of JNI.....	- 59 -
4.3.2 Pedestrian——NDK .....	- 61 -
4.3.3 Optimize pedestrian detection .....	- 62 -
<b>4.4 Experiment and Anlysis .....</b>	<b>- 64 -</b>
<b>4.5 Summary .....</b>	<b>- 68 -</b>
<b>Chapter5 Summary and Outlook.....</b>	<b>- 69 -</b>
<b>Acknowledgement .....</b>	<b>- 71 -</b>
<b>References .....</b>	<b>- 73 -</b>

## 第一章 绪论

### 1.1 研究背景和意义

计算机科研工作人员的努力促成近几十年中计算机领域令人骄傲的进步。计算机视觉（Computer Vision or Machine Vision）是一门通过计算机算法来分析处理图像（或者视频）数据，从而进行图像分析，信息获取，智能认知图像的学科，在图像处理、智能监控、机器人等众多领域有着举足轻重的地位。人们大部分时间是通过图像信息来感知这个世界的，而计算机技术的发展极大的加速了我们认识世界的过程。计算机视觉相关技术的发展使得人们可以将劳动力从类似于视频监控这种重复简单的事务当中解放出来。

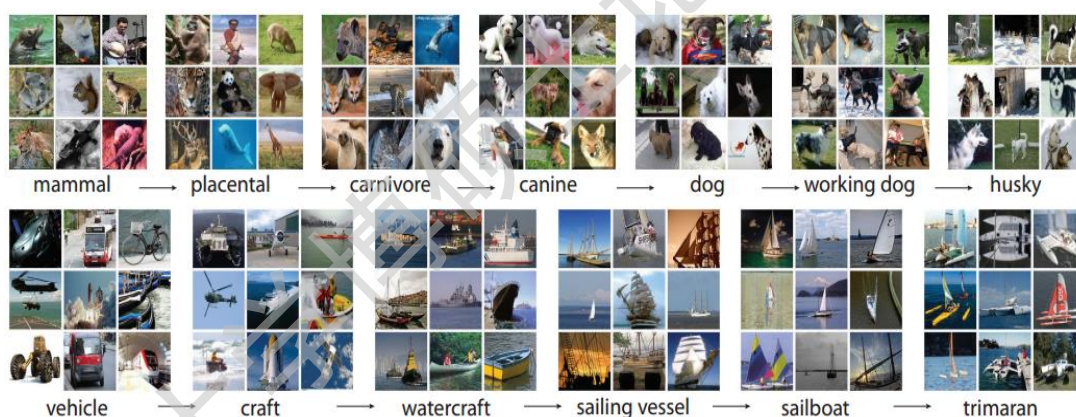


图 1-1 ImageNet 图像数据库

如图 1-1 所示为斯坦福大学科学家设计的一个计算机系统识别图像库——ImageNet 图像数据库<sup>[7]</sup>，它是目前世界上最大的图像识别数据库，为科研人员模拟、研究计算机视觉系统提供了便利。视觉系统中最关心的信息主要还是和人相关的信息。有效的检测出图像数据当中是否有人，以及存在人时所处的位置是非常具有现实意义的，行人检测就在这样的背景当中应运而生。

行人检测当下已经取得非常瞩目的研究成果，丰富的应用于以下的场景当中：智能监控，车辆辅助驾驶，智能交通监控，智能机器人以及 2015 年刚刚在国内迅猛发展的虚拟现实（VR）和现实增强（AR）等领域。

智能监控是行人检测最直接的应用场景：在大型商场，银行或者生活的社区已经有着非常完善的监控系统，过去的一年里各大城市监控系统迅速更新换代。因此，海量待处理的视频图像数据每一天都在产生。人工处理的方式要耗费极大的人力和物力；此外，人的主观性及疲劳情况下的注意力分散等因素会导致漏掉重要线索的可能发生。因此，通过行人检测算法作为辅助，检测出其中和人相关的信息，在此基础上进行更加细致的工作如异常事件检测，行人计数，行为识别，行人再识别等等可以保证更加高效和准确的完成特定任务。

汽车已成为生活中必不可少的一部分，车辆辅助系统中行人检测也是一大热点。汽车在中国的普及率越来越高，给人们的出行带来极大的方便。但由汽车引起的安全问题也在不断增加。因此，车辆辅助驾驶是汽车发展正在进行也必须要完善的一部分。如图 1-2 所示为 W Wu<sup>[8]</sup>等人在 2004 年就提出了在车辆辅助系统，其中加入基于视频的路标识别系统，以帮助驾驶员更好的辨别路径。

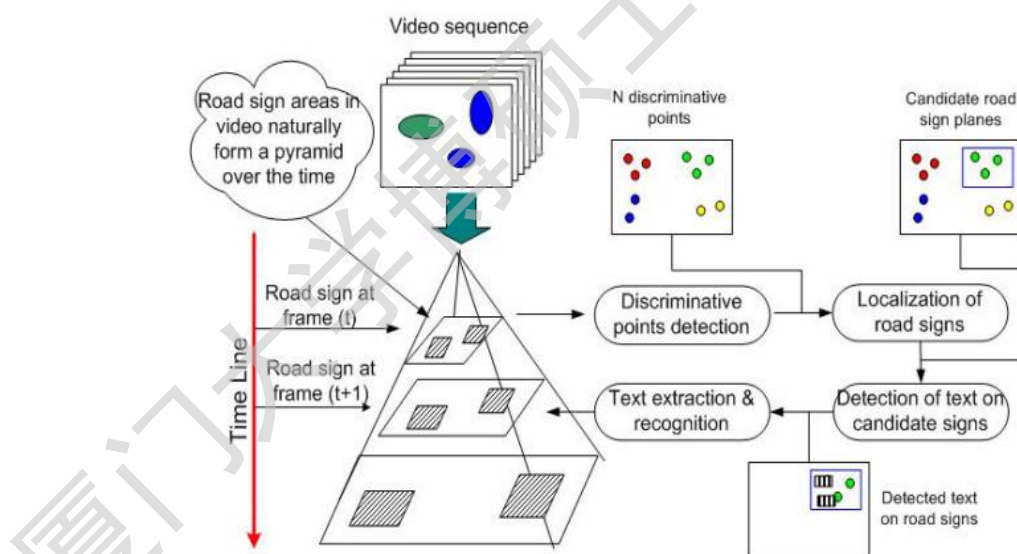


图 1-2 汽车辅助驾驶路标识别系统

行人检测算法应用到车辆辅助系统当中，检测出汽车行进方向范围内的行人并提前告知驾驶员能够降低交通事故发生的可能性，给人们的出行多一层保障。汽车企业如奔驰，奥迪等已经推出了自己的车辆辅助驾驶系统。此外，谷歌这样的互联网巨头也早早的投入到了无人驾驶的研究当中。目前使用的技术主要还是基于昂贵的激光扫描仪 LIDAR。将来，廉价的视觉系统配合优秀的视觉算法必然

是无人驾驶趋于平民化的重要步骤之一。

智能机器人方面，机器人从一个电影当中的角色逐渐进入到人们的生活当中。机器人通过视觉系统感知周围，发现周围的人才能使机器人与人的交互更加智能。亦或是将机器人应用到医疗健康领域，如通过“眼睛”寻找到所需要关注的人，对人的状态进行观察，加上表情分析等判断人的需求。如老年机器人通过老年人的状态给予及时的护理和照顾。因此，行人检测对于机器人领域也十分重要。

虚拟现实和现实增强领域，2015 年可谓是其高速拓展寻找其突破口的一年。人们普遍对其有很高的期望和很好的预期，预计近几年市场估值将达到 400 亿美元。行人检测对虚拟与现实场景的交互，虚拟场景当中的军事演习，医疗辅助系统等等都有着重要的作用。图 1-3 所示为 Oculus Rift 头戴显示设备。



图 1-3 虚拟现实 oculus rift 头戴显示设备

综上所述，行人检测在这些领域当中富有极大的应用前景和研究价值。此外，计算机视觉能迅速的发展得力于硬件和软件两个方面的发展，计算机软硬件性能的提高拓宽了行人检测解决方案研究的可能性。

硬件方面，图像处理单元（Graphics Processing Unit，GPU）近几年迅速发展，已经逐步普及到个人电脑甚至是移动设备上。图形图像相关的处理由传统的 CPU 处理转为依靠 GPU 本身 2D 或 3D 加速功能进行高效的处理。这使得 CPU

被极大的被释放而能够专注于系统任务上，从而大大的提高计算机整体性能。

软件方面，2005 年 Google 从 Andy Rubin 手上低调收购 Android 公司，此后推出了基于 Linux 内核的开源智能手机操作系统，并且联合多家该领域厂商组成开放手持设备联盟（Open Handset Alliance, OHA），形成了完善的 Android 生态体系。Android 系统根植于 Linux Kernel，免费且可完全定制，平台开放。通过 Android Market，开发人员可以发布免费或者收费的应用服务；Android 用户也可以方便的搜索下载自己需要的应用程序。由于 Android 构建在开源代码的框架之上，并且提供了强大的软件开发工具包（Software Development Kit, SDK），因此移动开发人员可以高效的进行 Android 平台系统开发和应用扩展。Android 系统还在不断的更新和完善，目前最新版本已经到了 Android 6.0。Android 不仅可以在智能手机中使用，还可以在移动互联网终端（MID）、平板电脑、便携式媒体播放器（PMP）和汽车电子等其他移动设备上使用。全球市场分析公司 IDC 的报告显示，截止 2015 年底 Android 操作系统的市场份额已经达到 63.8%，仍然是应用最为广泛的智能手机操作系统。

Android 系统迅猛发展的态势，为移动化联网的开发提供了很好的生态环境。在基于 Android 操作系统的便携式智能设备上应用开发具有良好的扩展性和可移植性。因此，在 Android 设备上开发行人检测算法变得可行，并且极具开发的现实意义和商业价值。因此，最终确定为基于 Android 操作系统的行人检测系统。

## 1.2 研究现状及存在的问题

目前，行人检测吸引国内外很多大学或机构进行研究。国外以 MIT、卡耐基梅隆大学、法国国立计算机及自动化研究院等为代表；国内有如上海交通大学、香港中文大学、中科院自动化所等大学机构。行人检测课题经过几十年的研究，科研和工程上都取得了令人瞩目的研究成果<sup>[1]</sup>，不断有行人检测方向上最新的理论架构和创新性研究成果<sup>[1,5,9]</sup>在国际顶级的会议和期刊（如：PAMI、PR、IJCV、CVPR、ICCV、ECCV 等）上发表。如图 1-4 所示将行人检测算法总结为以下几种类型：



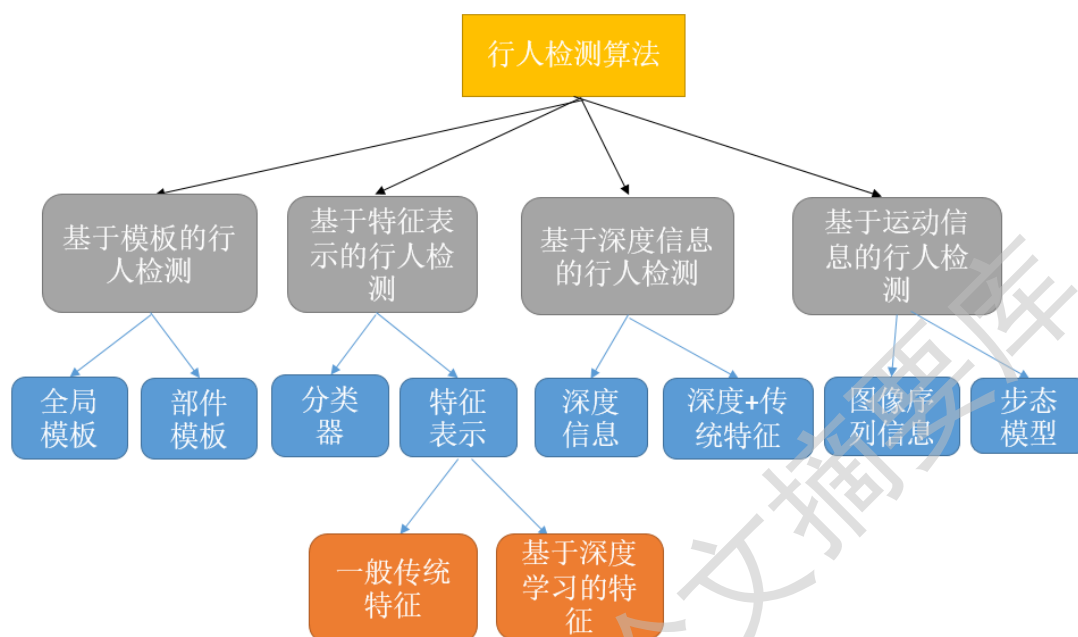


图 1-4 当下主要的行人检测算法总结

行人检测问题通常被当作一个分类的问题，即从输入图像的各个候选区域当中对行人和背景进行分类。理论上，如果找到一种特征能够很好的描述一个行人，并且很差的描述一个非行人，那么使用恰当的分类器将图像当中具有该特征描述子的图像块找出来便可以完成行人检测的任务。特征方面早期有 Haar 小波，但是 Papageorgiou C P 等<sup>[10]</sup>使用 Haar 小波进行行人检测并未收到较好的效果。2005 年，Dalal 等<sup>[2]</sup>提出了梯度方向直方图特征 HOG (Histogram of Oriented Gradient)。该特征描述子刻画的是图像的局部梯度幅值和方向特征，能够很好的克服光照变化以及目标的微小变化等问题，因此 HOG 被行人检测广泛研究使用。Corinna Cortes 和 Vapnik 等<sup>[10]</sup>于 1995 年提出的支持向量机 (Support Vector Machine, SVM) 算法在模式识别任务中表现出很强的判别能力，尤其对于解决小样本、非线性及高维度中的分类问题。Dalal 等<sup>[2]</sup>人采用 HOG 特征结合线性的 SVM 分类器的算法训练出一个行人模型，在 MIT 数据库上测试检测的准确率可接近 100%，足见 HOG 特征的优秀程度。此后，“HOG+SVM”模型成为最为经典的行人检测模型，目前有很多模型都是在此基础上进行改进和完善的。

HOG 特征的缺点是特征维度过高，计算的速度非常慢；通过梯度特征的求解的原理使得它本身对于噪声有较差的鲁棒性；复杂场景当中的行人问题如遮挡它也不能很好的解决。因此，HOG 还需要不断的改进。

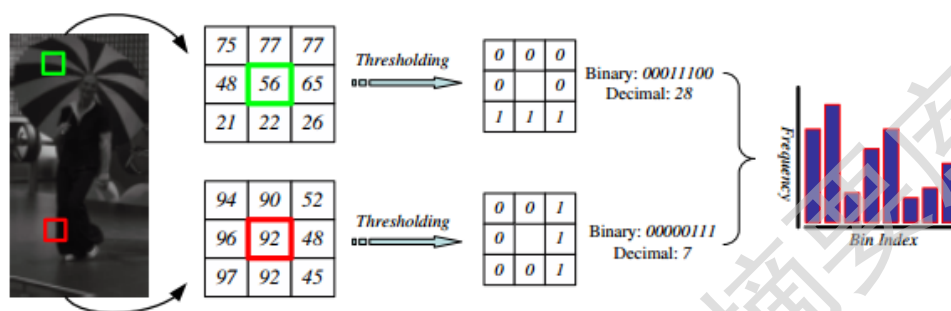


图 1-5 LBP 特征在行人检测当中的应用

图 1-5 是 T Ojala 等<sup>[12]</sup>提出局部二值模式 (Local Binary Pattern) 描述子，它是用于纹理分类的特征提取方法，有着十分优秀的计算效率。但是 LBP 特征在图像比较模糊或者光照变化强烈等情况中不能有效地刻画出纹理特征。Y Mu 等<sup>[13]</sup> 根据行人的特点，改进现有的 LBP 描述子于 2008 年提出了语义 LBP：S-LBP 和 傅立叶 LBP：Fourier-LBP。其中，S-LBP 特征在子窗口判别能力的比较中取得了优于 HOG 特征的效果，图 1-6 是二者的对比。



图 1-6 S-LBP 与 HOG 特征子窗口选取性能比较

研究表明，融合多种表现能力强的特征描述子能够获得比单一特征类型更



Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.